

Оптимизация электропотребления путем улучшения электромагнитной совместимости сетей общего назначения и потребителей электроэнергии объектов

Работа проводилась в 2010 - 2012 г.г. в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы

государственный контракт № П1134

Научный руководитель проекта: к.т.н., доц. Цырук С.И.

Цель работы

Разработка рекомендаций и предложений по снижению негативного воздействия несинусоидальности напряжения, а также по эффективному использованию средств улучшения качества электроэнергии

Результаты исследований.

1. Математически описано негативное влияние несинусоидальности напряжения питания на срок службы, надежность и потери различных видов электрооборудования.

2. Показан механизм технико-экономического обоснования использования перспективных средств борьбы с нарушениями качества электроэнергии.

4. Проанализирована обратная экспоненциальная связь между сроком службы изоляции и перегревом ЭО, математически описаны вероятностные характеристики отказов ЭО вследствие несинусоидальности.

5. Проведен сравнительный обзор основных средств улучшения КЭ с выделением наиболее перспективных методов устранения нарушений КЭ;

6. Для наиболее распространенных и перспективных методов контроля КЭ показаны примеры расчета параметров и технико-экономического обоснования использования.

В результате выполнения 1 этапа работы проведен аналитический обзор нормативных документов по электромагнитной совместимости, представлено сравнение норм показателей качества Российских и зарубежных стандартов, перечислены основные законодательные и нормативно-правовые акты, регулирующие защиту прав потребителей электроэнергии, связанные с ее качеством. Выбрано основное направление теоретических исследований влияния непромышленных электроприемников с нелинейной характеристикой на системы электроснабжения общего назначения. Составлен план проведения экспериментальных исследований бытовых электроприемников.

Проведены теоретические исследования электромагнитной совместимости непромышленных электроприемников электрических сетей общего назначения, выполнена классификация бытовых электроприемников по их степени влияния на искажение синусоидальности напряжения сети.

На 2 этапе данной работы были рассмотрены помехоэмиссионные свойства основных групп бытовых ТС, выявлена группа бытовых электроприемников общего назначения, формирующих основную часть несинусоидального влияния на сеть. Установлено, что помехоэмиссия бытового ТС характеризуется степенью искажения кривой тока питания, которая у приборов с источниками вторичного электропитания может иметь импульсную форму.

Исходя из анализа номенклатуры и мощности бытового электрооборудования показано, что наиболее мощными источниками несинусоидального тока являются бытовая электроника (в частности персональные компьютеры), СВЧ-печи, приборы с электродвигателями, электроосвещение.

Также были измерены параметры несинусоидальности компьютерной нагрузки в ходе исследования кривых напряжения и тока питания компьютерного класса, показана

связь между несинусоидальностью напряжения сети и искаженным составом кривой тока потребителя.

В результате эксперимента установлено количественное содержание ВГ в кривой тока компьютера: 3-я гармоника - до 80% от величины основной, 5 - до 70%, 7 - до 50%, 9 - до 40%, 11-до 30%.

На 3 этапе выполнения работы, учитывая результаты предыдущих исследований, было решено более подробно исследовать механизм эмиссии высших гармоник от бытовой электроники, а именно персонального компьютера, посредством математического и компьютерного моделирования несинусоидального влияния компьютерной нагрузки. Обзор основных методов моделирования несинусоидального влияния на сеть выпрямителя со сглаживающим конденсатором позволил выделить два метода расчета: временной и частотный; были описаны их достоинства и недостатки. Предложен метод моделирования, обладающий свойствами как временного, так и частотного методов расчета.

С помощью метода переменных состояния была получена усредненная модель высокочастотного преобразователя напряжения в малых отклонениях, которая затем использовалась в рамках метода отображения входного сопротивления при расчете спектра входного тока источника питания. Также были представлены примеры временного и частотного методов расчета. После математического моделирования было проведено проектирование параметров источника питания компьютера с целью использования их при получении численных выражений для спектра тока питания компьютера.

Было проведено моделирование исследуемой схемы в программном комплексе PSPICE с получением кривых напряжения и тока выпрямителя источника питания, получена кривая тока питания компьютерной модели источника питания компьютера, ее гармонический спектр, которые сравнивались с результатами теоретического моделирования.

Формирование математической модели позволило выявить связь между длительностью интервала проводящего состояния выпрямителя и уровнем искажения кривой тока питания. Также был сделан вывод, что выбранный в качестве метода исследования частотный метод, учитывающий топологию и режим работы преобразователя наряду с расчетом выпрямителя со сглаживающим конденсатором, позволяет более точно оценивать влияние нелинейности отдельных элементов источника питания компьютера на искажение кривой тока питания.

Результатом 4 этапа стало получение экспериментальных кривых и спектров напряжения питания и потребляемого тока персонального компьютера и сравнение этих данных с результатами моделирования, полученными в программе PSPICE. Методология проведения работы включала:

- оценку гармонического состава напряжения инвертора при питании активной нагрузки. В результате были получены данные, позволяющие оценить спектр напряжения и тока инвертора в соответствии с нормами; измерение высших гармоник напряжения и потребляемого тока персонального компьютера при питании от инвертора.

- моделирование питания персонального компьютера от инвертора в программе PSPICE. Исходные данные для моделирования были взяты из результатов измерений. Результаты моделирования и эксперимента сравнивались с целью подтверждения достоверности разработанной ранее модели;

По результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- несмотря на небольшой коэффициент искажения синусоидальности выходного напряжения инвертора, значения некоторых нечетных гармоник среднечастотного диапазон, кратных 3, превышали допустимые согласно нормам ГОСТ;

- кривая потребляемого тока ИИП ПК при питании от инвертора имела двухпиковую форму, ее гармонический состав характеризуется высоким уровнем нечетных гармоник,

однако благодаря искаженной кривой напряжения питания («плоской» синусоиде) длительность протекания тока увеличена, а значит суммарный коэффициент ВГ тока меньше по сравнению со случаем питания от идеальной синусоиды напряжения.

- учитывая относительно небольшую мощность и цену, исследуемый персональный компьютер может широко использоваться в офисных центрах и административных учреждениях, где благодаря накопительному эффекту большого числа маломощных нелинейных нагрузок может серьезно ухудшать электромагнитную обстановку в питающей сети.

5 этап работы рассматривает вопросы адекватности разработанной модели несинусоидального влияния импульсного источника питания персонального компьютера на сеть. Полученные ранее результаты теоретического и экспериментального анализа сравниваются с целью выявления погрешностей теоретической модели и оценки потенциала корректировки.

Сравнение теоретических результатов и экспериментальных данных было проведено для следующих критериев: амплитуды и среднеквадратического значения потребляемого тока, параметров интервала проводящего состояния диодов, формы импульса тока, коэффициента мощности, гармонического спектра кривой потребляемого тока.

Проведенный анализ теоретических результатов моделирования и экспериментальных данных выявил значительные расхождения параметров кривой потребляемого тока ИИП ПК. Значительно отличаются как спектральный состав кривой, и соответственно, ее форма; так и длительность интервала проводящего состояния диодов

Предложенная в рамках третьего этапа теоретическая модель потребляемого тока ИИП ПК недостаточно достоверно описывает работу нелинейного ЭП в условиях с неудовлетворительным КЭ, однако позволяет приблизительно оценить амплитуду и суммарный коэффициент искажения потребляемого тока. Выявленные несоответствия позволяют с помощью анализа критериев адекватности модели выделить основные направления корректировки: учет сопротивления сети, а также несинусоидальности напряжения питания.